



⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 3728041 A1

⑯ Aktenzeichen: P 37 28 041.4
⑯ Anmeldetag: 22. 8. 87
⑯ Offenlegungstag: 2. 3. 89

⑯ Int. Cl. 4:
C 22 F 1/00
C 21 D 8/02
B 21 D 11/00
C 22 F 3/00
B 23 K 26/00

DE 3728041 A1

⑯ Anmelder:

Messer Griesheim GmbH, 6000 Frankfurt, DE

⑯ Erfinder:

Bergmann, Hans Wilhelm, Prof. Dr., 8501 Eckental,
DE

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 35 05 251 A1
DE 28 22 825 A1
DE-OS 15 65 144
US 44 56 812
US 41 51 014
US-Z: J.Met., May 1983, S.18-26;

⑯ Verfahren zur Herstellung von Biegeteilen aus vorverfestigten Metallen durch Kaltumformung

Das Herstellen von Biegeteilen aus vorverfestigten Metallen durch Kaltumformung ist ohne besondere Biegewerkzeuge möglich, wenn das Halbzeug entlang der späteren Biegekante entsprechend behandelt wird. Erfindungsgemäß erfolgt dies durch eine kurzzeitige lokale Wärmebehandlung, aufgrund der die Formänderungsfestigkeit über den Biegequerschnitt, vorzugsweise mittels eines Lasers, um mindestens 15% abgesenkt und anschließend die Kaltumformung durchgeführt wird.

DE 3728041 A1

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Biegeteilen aus vorverfestigten Metallen durch Kaltumformung, dadurch gekennzeichnet, daß durch eine kurzzeitige, lokale Wärmebehandlung im Bereich der späteren Biegekante die Formänderungsfestigkeit des Metalls bei Raumtemperatur über den Biegequerschnitt im Mittel um mindestens 15% gegenüber den nicht wärmebehandelten Bereichen abgesenkt wird und anschließend die Kaltumformung durchgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die kurzzeitige, lokale Wärmebehandlung mit einem Laserstrahl durchgeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorverfestigung des Metalls vorzugsweise durch einen Kaltwalzvorgang erreicht wird und anschließend das vorverfestigte Biegeteil durch eine kurzzeitige lokale Wärmebehandlung oberhalb der Rekristallisationstemperatur in seiner Formänderungsfestigkeit lokal um mindestens 15% abgesenkt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorverfestigung bei aushärtbaren Legierungen vorzugsweise durch eine Ausscheidungshärtung erreicht wird und anschließend das ausgehärtete Biegeteil durch eine kurzzeitige lokale Wärmebehandlung oberhalb der Homogenisierungstemperatur in seiner Formänderungsfestigkeit lokal um mindestens 15% abgesenkt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß bei martensitisch härtbaren Metallen die kurzzeitige lokale Wärmebehandlung im Zeit-Temperatur-Bereich des inhomogenen Austenits durchgeführt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl mit Hilfe eines Strahlintegrators vornehmlich in einer Richtung zu einem linienförmigen Strahl aufgeweitet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Durchführung der Wärmebehandlung das Metall unter dem Laserstrahl bewegt wird, und auf diese Weise eine Wärmespur auf dem Metall erzeugt wird, in der die Formänderungsfestigkeit des Metalls um mindestens 15% abgesenkt ist.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß zur Durchführung der Wärmebehandlung der Laserstrahl über das Metall bewegt wird und auf diese Weise eine Wärmespur auf dem Metall erzeugt wird, in der die Formänderungsfestigkeit des Metalls um mindestens 15% abgesenkt ist.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorschubgeschwindigkeit und/oder die Leistung des Laserstrahls so eingestellt werden, daß auch an der dem Laserstrahl gegenüberliegenden Seite des Metalls eine Wärmebehandlung oberhalb der Rekristallisations- oder Homogenisationstemperatur stattfindet.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorschubgeschwindigkeit und/oder die Leistung des Laserstrahls so eingestellt werden, daß bei härtbaren Metallen an keiner Stelle der Bereich des homogenen Austenits während der kurzzeitigen, lokalen Wärmebehandlung erreicht wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die lokale kurzzeitige Wärmebehandlung durch eine gleichzeitige berührungslose, vorzugsweise optische Temperaturmessung überwacht und gesteuert wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Wärmebehandlung das Metall im Bereich der späteren Biegekante der Oberfläche zur Erhöhung der Absorption der Laserstrahlen vor der Wärmebehandlung mit einer gutabsorbierenden Substanz, vorzugsweise mit Graphit, beschichtet wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Biegeteile aus einem vorverfestigten Blech gefertigt werden.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß bei Blechen die Breite der laserstrahlbehandelten Wärmespur mindestens doppelt so groß ist, wie die Blechdicke.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß bei Blechen die Breite der laserstrahlbehandelten Wärmespur höchstens doppelt so groß ist wie der gewünschte Biegeradius.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß bei Metallen, die oberhalb einer bestimmten Temperatur versprüden, z. B. wenn sie bei der Wärmebehandlung lokal aufschmelzen, die Behandlungstemperatur vorzugsweise durch die Wahl von Leistungsdichte und Einwirkzeit der Laserstrahlen begrenzt wird.
17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß Bleche verwendet werden mit einer Dicke unter 4 mm.
18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß bei Blechen von 0,2–1,5 mm Dicke mit einer Leistungsdichte des Lasers von $2-5 \cdot 10^3$ w/cm² und einer Vorschubgeschwindigkeit von 3–12 m/min die Wärmebehandlung durchgeführt wird, bei einer Leistung des Lasers von 1,5–3 kW.
19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß bei Blechen von 0,2–1,5 mm Dicke mit einer Leistungsdichte des Lasers von $2-5 \cdot 10^4$ w/cm² und einer Vorschubgeschwindigkeit von 3–12 m/min die Wärmebehandlung durchgeführt wird, bei einer Leistung des Lasers von 300–700 W.
20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Blech Vierkantrohre gefertigt werden.
21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Fertigung von Vierkantrohren das Walzblech unmittelbar bei der Herstellung, insbesondere hinter dem letzten Reduzierwalzgerüst und vor dem Haspel oder einem Biegegerüst, lokal im Bereich der späteren Biegekanten,

erweicht wird.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß das Blech unmittelbar nach der lokalen Wärmebehandlung in einem Arbeitsgang zu einem Vierkantrohr gebogen wird.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß aus den Metallen Steckverbinder gefertigt werden, die aus einem Träger, vorzugsweise einer Feder- oder Messerleiste und mit dem Träger verbundenen Kontakten bestehen, deren Formänderungsfestigkeit im Bereich der späteren Biegekanten im Mittel um mindestens 15% gegenüber den nicht wärmebehandelten Bereichen abgesenkt wird.

5

Beschreibung

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Biegeteilen aus vorverfestigten Metallen durch Kaltumformung.

Metalle sind feste oder flüssige Stoffe mit metallischer Bindung und zeigen mit steigender Temperatur durchweg eine abnehmende und verhältnismäßig große elektrische Leitfähigkeit. Betrachtet man die Eigenschaften eines Metalls beim Umformen von einem Rohling, einem Halbzeug oder einer Vorform in eine gewünschte andere Form, so sind die Kaltformgebung (Kaltumformung) und die Warmformgebung (Warmumformung) zu unterscheiden, je nachdem, ob das Werkstück beim Umformen angewärmt ist oder nicht. Als Grenze zwischen beiden gilt die Rekristallisationstemperatur. Während bei der Kaltumformung die einzelnen Kristallite mit fortschreitender Verformung zunehmend verzerrt werden, wird bei der Warmumformung die durch die Verformung bedingte Verzerrung der Kristallite durch Kornneubildung wieder aufgehoben, bzw. es findet infolge dynamischer Erholung keine oder nur eine geringfügige Verfestigung statt.

15

Halbzeuge, vorzugsweise Bleche mit kleinen Querschnitten und engen Toleranzen, wie sie beispielsweise im Stahlleichtbau oder in der Elektroindustrie eingesetzt werden, müssen durch Kaltumformung hergestellt werden. Während der Kaltumformung wird infolge der hierbei wirksam werdenden Verfestigung der Metalle das Formänderungsvermögen wesentlich geringer. Das Umformverhalten eines Metalls im einachsigen Zugversuch wird durch eine Spannungs-Dehungs-Kurve beschrieben (Fig. 1). Mit zunehmender Spannung verlängert sich ein weichgeglühtes Metall (Kurve B) zunächst elastisch, bis es beim Überschreiten der Streckgrenze $r_p 0,2$ zur plastischen Verformung kommt. Wird das gleiche Metall zunächst vorverfestigt, so wird die Streckgrenze $r_p 0,2$ angehoben, d. h. daß bei einer höheren Spannung eine elastische Verformung vorliegt.

20

Die vorverfestigten Metalle sind durch Versetzungsbewegungen plastisch verformbar und lassen sich zu verschiedenen Gebrauchsgegenständen kalt umformen. Um aus einem Halbzeug, z. B. einem vorverfestigten Blech, einen Gegenstand, z. B. ein Vierkantrohr zu fertigen, sind in der Regel komplizierte Formwerkzeuge erforderlich, damit man unter Krafteinwirkung eine gerade Biegekante und einen geringen Biegeradius erhält. Bei der automatischen Massenteillfertigung, z. B. von Vierkantrohren, sind oftmals bis zu fünf Walzgerüste für das Rohrbiegen erforderlich. Auch in anderen Fällen ist eine Kaltumformung in nur einem Arbeitsgang nicht möglich, weil das Formänderungsvermögen des Metalls überschritten wird. Man kann sich dann z. B. durch schrittweises Umformen gegebenenfalls mit Zwischenglühungen des Halbzeuges behelfen.

30

Das Biegen eines Metalls, z. B. eines vorverfestigten Bleches, ist dann ohne besondere Biegewerkzeuge möglich, wenn das Halbzeug entlang der späteren Biegekante perforiert wird. Derartige Materialaussparungen sind aber nicht für alle technischen Anwendungsfälle zulässig (ABC Umformtechnik Metall, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, Bestell-Nr. 54 08 093, Seiten 191 bis 192, Profilieranlage für kaltgebogene Profile).

35

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Halbzeug unter Erhaltung seines Verfestigungszustandes nur an der späteren Biegekante soweit zu erweichen, daß eine Kaltformgebung mit einfachen oder ohne Vorrichtungen möglich ist. Die Fließfähigkeit des Metalls soll in der Biegekante verbessert und ein Zwischenglühen vermieden werden.

40

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß durch eine kurzzeitige lokale Wärmebehandlung im Bereich der späteren Biegekante die Formänderungsfestigkeit des Metalls bei Raumtemperatur über den Biegequerschnitt im Mittel um mindestens 15% gegenüber den nicht wärmebehandelten Bereichen abgesenkt wird und anschließend die Kaltumformung durchgeführt wird.

45

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile bestehen insbesondere darin, daß durch das lokale Absenken der Formänderungsfestigkeit eines vorverfestigten Metalls, d. h. durch das lokale Absenken der Streckgrenze $r_p 0,2$ von dem Wert a (Fig. 1, Kurve A) auf den Wert b (Fig. 1, Kurve B) das Halbzeug ausschließlich an dieser Stelle plastisch kaltverformt werden kann. Die Kaltformgebung erfordert nur einen geringen Vorrichtungsaufwand, da durch die verringerte Formänderungsfestigkeit des Metalls im Bereich der Biegekante geringere Biegekräfte aufgewendet werden müssen. Durch die verringerten Biegekräfte in der Biegekante können in den bekannten Biegeanlagen dicke Bleche gebogen werden.

50

Die Genauigkeit der kaltumgeformten Biegeteile wird durch die Verringerung der Formänderungsfestigkeit im Bereich der späteren Biegekante erhöht. Eine genaue Biegekante, beispielsweise die Breite des Biegeradius, kann definiert vorgegeben werden.

55

Vorteilhaft wird die kurzzeitige, lokale Wärmebehandlung mit einem Laserstrahl durchgeführt. Die Laserstrahlen erlauben es, daß in der Biegekante das Metall schnell aufgeheizt wird, der nicht wärmebehandelte Bereich jedoch im wesentlichen "kalt" bleibt. Dabei wird eine schnelle Abkühlung der Wärmespur von ca. 10^2 Kelvin/Sekunde ermöglicht.

60

Selbstverständlich ist es auch möglich, die kurzzeitige lokale Wärmebehandlung mit einer anderen Wärmequelle, insbesondere einem Brenner oder einer Elektronenstrahlwanne vorzunehmen.

65

Dadurch, daß die Wärmebehandlung für kaltverfestigte Biegeteile, oberhalb der Rekristallisationstemperatur und für ausgehärtete Biegeteile insbesondere aushärtbaren Aluminiumlegierungen, oberhalb der Homogenisie-

rungstemperatur erfolgt, wird die Verfestigung durch die Kristallverzerrung bzw. die Ausscheidungshärtung lokal rückgängig gemacht, wodurch es vorteilhaft möglich ist, die Formänderungsfestigkeit lokal um mindestens 15% abzusenken.

Bei martensitisch härzbaren Metallen muß vermieden werden, daß durch die kurzzeitige, lokale Wärmebehandlung anstelle eines Absenkens ein Erhöhen der Formänderungsfestigkeit stattfindet, z. B. daß das α Eisen sich in Austenit umwandelt und der Zementit sich auflöst und sich der Kohlenstoff gleichmäßig verteilt im Austenit einlagert, so daß es bei der nachfolgenden Abkühlung (Selbstabschreckung) zur Zwischenstufe oder Martensitbildung kommt. Erfahrungsgemäß wird die Wärmebehandlung im Zeit-Temperatur-Bereich des inhomogenen Austenits, d. h. so kurzzeitig durchgeführt, daß eine Gleichverteilung des Kohlenstoffes im Austenit nicht erreicht wird, so daß nach der Selbstabschreckung ein Gefüge vorliegt, das aus einer Matrix aus weichem α -Eisen besteht, in dem harte Inseln (Martensit oder Zwischenstufe) eingebettet sind.

Erfahrungsgemäß ist der Laserstrahl mit Hilfe eines Strahlintegrators, vornehmlich in einer Richtung zu einem linienförmigen Strahl aufgeweitet. Vorteilhaft wird durch diesen linienförmigen Laserstrahl einerseits eine höhere Arbeitsgeschwindigkeit ermöglicht und andererseits wird bei dickeren Blechen gewährleistet, daß an der Blechunterseite die Rekristallisations- bzw. Homogenisierungstemperatur noch erreicht wird, ohne daß an der Oberseite der Bereich des homogenen Austenits oder der Schmelzbereich erreicht wird.

Nach einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel wird die Vorschubgeschwindigkeit und/oder die Leistung des Lasers so eingestellt, daß auch an der dem Laser gegenüberliegenden Seite des Metalls eine Wärmebehandlung oberhalb der Rekristallisations- oder Homogenisierungstemperatur stattfindet. Hierdurch wird über den gesamten Biegequerschnitt der Biegekante des Metalls eine erhöhte Fließfähigkeit erreicht.

Bei härzbaren Metallen wird die Vorschubgeschwindigkeit und/oder Leistung des Lasers so eingestellt, daß an keiner Stelle der Bereich des homogenen Austenits während der kurzzeitigen lokalen Wärmebehandlung erreicht wird.

Um eine konstant abgesenkte Formänderungsfestigkeit entlang der Biegekante zu gewährleisten, wird die lokale kurzzeitige Wärmebehandlung durch eine gleichzeitige berührungslose Temperaturmessung überwacht und gesteuert. Hierzu wird mit einem Temperatursensor die IST-Temperatur gemessen und mit einer vorgegebenen SOLL-Temperatur verglichen. Aus der Temperaturdifferenz wird ein Steuersignal gebildet, mit welchem die Leistung bzw. die Geschwindigkeit des Laserstrahls oder des Werkstücks nachgesteuert wird.

Bei der Wärmebehandlung mit dem Laser wird ausschließlich im Bereich der späteren Biegekante zur Erhöhung der Absorption des Metall an der Oberfläche vor- oder während (One-line) der Wärmebehandlung mit einer gut absorbierenden Substanz, beispielsweise mit Graphit, beschichtet.

Vorteilhaft ist bei Blechen die Breite der erweiterten Wärmespur mindestens doppelt so groß, wie die Blechdicke, wobei die Breite der Wärmespur höchstens doppelt so groß ist, wie der gewünschte Biegeradius.

Vorteilhaft wird als Blech ein Walzblech verwendet, aus dem Vierkantrohre hergestellt werden. Bei der Fertigung von Vierkantrohren wird das Walzblech unmittelbar bei der Herstellung, beispielsweise hinter dem letzten Reduzierwalzgerüst und vor dem Haspel oder einem Biegegerüst lokal im Bereich der späteren Biegekanten erweitert. Anschließend wird das behandelte Blech unmittelbar nach dem lokalen Erweichen in einem Arbeitsgang zu einem Vierkantrohr gebogen. Werden Metalle verwendet, die oberhalb einer bestimmten Temperatur versprüden, beispielsweise wenn sie bei der Wärmebehandlung lokal aufschmelzen, wird die Behandlungstemperatur begrenzt. Dies kann vorteilhaft durch die Wahl von Leistungsdichte und Einwirkzeit des Lasers erreicht werden.

Vorteilhaft werden Bleche verwendet, mit einer Dicke unterhalb 4 mm. Bei einem Ausführungsbeispiel wurden Bleche von 0,2 bis 1,5 mm Dicke mit einer Leistungsdichte des Lasers von 2 bis $5 \cdot 10^3$ Watt pro cm^2 und einer Vorschubgeschwindigkeit von 3 bis 12 m pro Minute wärmebehandelt, bei einer Leistung des Lasers von 1,5 bis 3 kW.

Nach einem weiteren Ausführungsbeispiel wird bei Blechen von 0,2 bis 1,5 mm Dicke mit einer Leistungsdichte des Lasers von 2 bis $5 \cdot 10^4$ Watt pro cm^2 mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 3 bis 12 m pro Minute die Wärmebehandlung durchgeführt, bei einer Leistung des Lasers von 300 bis 700 Watt.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1 ein Spannungs-Dehnungs-Diagramm;

Fig. 2a bis 2c Gefügeaufnahmen eines behandelten Metalls (C 10);

Fig. 3 den Härteverlauf entlang der erweiteten Spur.

Fig. 4 eine Gefügeaufnahme eines gebogenen Metalls (C 10).

Auf verschiedenen dicken und unterschiedlich behandelten Blechen aus unterschiedlichen Metallen, vorzugsweise legierten Metallen wie sie in Tabelle 1 aufgeführt sind, wurden mit einem Laserstrahl Wärmebehandlungsspuren auf die Oberfläche eines Metall gelegt, nachdem zuvor mit einem Markierwerkzeug (Bleistift, Filzstift, etc) die spätere Biegekante zur örtlichen Erhöhung und zur lokalen Begrenzung der Absorption geschwärzt worden war. Hierzu wurde vorzugsweise der Laserstrahl über das Blech bewegt. Im Anschluß an diese Behandlung konnten Blechabschnitte von Hand, d. h. ohne eine spezielle Biegevorrichtung gradlinig zu Winkeln etc. gebogen werden. Der erhaltene Biegeradius war lediglich durch die Blechdicke und die Breite der Schwärzung begrenzt.

Die erreichbaren Vorschubgeschwindigkeiten hängen von der Laserleistung und der Strahlgeometrie ab. Eine Erhöhung der Laserleistung um den Faktor "Vier" erbrachte bei gleichzeitiger Absenkung der Leistungsdichte um den Faktor "Zehn" und Verwendung einer rechteckförmigen Strahlquelle eine Erhöhung der Vorschubgeschwindigkeit um den Faktor "Fünfundzwanzig" für das gleiche Bearbeitungsergebnis.

Fig. 2a bis 2c zeigt Gefügeaufnahmen eines behandelten vorverfestigten Bleches, wie es unter Punkt 5 (C10) in der Tabelle 1 aufgeführt ist.

OS 37 28 041

In Fig. 2a ist das aus einer Matrix von α -Eisen und Kohlenstoff bestehende kaltgewalzte Gefüge des Bleches dargestellt. Fig. 2 b zeigt eine Gefügeaufnahme des über der Rekristallisationstemperatur lokal erwärmten Biegebereiches, während in Fig. 2c der Übergangsbereich zwischen dem lokal erwärmten Biegebereich und vorverfestigten Gefüge des Biegeteils zu sehen ist.

In Fig. 3 ist der zu dem Blech C10 gehörige Härteverlauf nach der Rekristallisation der Biegekante 13 dargestellt. Auf der Abszisse 18 des Diagramms sind Abstände und auf der Ordinate 19 Härtewerte (Härteprüfung nach Vickers) aufgetragen. Wie aus diesem Diagramm ersichtlich, bildet sich entlang der Biegekante nach der Wärmebehandlung ein rekristallisierter Bereich aus, der in seiner Formänderungsfestigkeit um mindestens fünfzehn Prozent abgesenkt ist, und welcher von einem Übergangsbereich mit teilweise rekristallisiertem Gefüge umgeben ist.

In Fig. 4 ist das Gefüge der Biegekante nach der Kaltformgebung dargestellt.

Nach einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel werden aus den wärmebehandelten Blechen Profile, insbesondere Vierkantrohre, gefertigt. Dabei wird das Walzblech hinter dem letzten Reduzierwalzgerüst und vor dem Haspel oder einem Biegegerüst, lokal im Bereich der späteren Biegekanten erweicht.

Nach einem weiteren vorteilhaften Ausführungsbeispiel werden aus den Metallen Steckverbinder gefertigt, die aus einem Träger, vorzugsweise einer Feder- oder Messerleiste und mit dem Träger verbundenen Kontakten bestehen, deren Formänderungsfestigkeit im Bereich der späteren Biegekanten im Mittel um mindestens 15% gegenüber den nicht wärmebehandelten Bereichen abgesenkt wird.

Tabelle 1

Materialien und Versuchsparameter

Nr.	Material	Blechdicke mm	Ausgangszustand	Ausgangshärte HV 0,1	Härte der Spur HV 0,1	25
1	Cu 99,8	0,5	50% gewalzt			
2	CuNi 78 Zn 20	0,25	33% gewalzt	220	150	
3	Al 99,8	0,5	50% gewalzt	32	20	
4	AlMgSi	1,5	ausgehärtet	80	44	30
5	C 10	1,0	75% gewalzt	140	170	
6	X 12 CrNi 188	1,0	33% gewalzt	285	220	

Nr.	Laserleistung W	Leistungsdichte W/cm ²	Vorschubgeschwindigkeit m/min	35
1	600	2-5 * 10 ⁴	5,0	
2	400	2-5 * 10 ⁴	9,0	
3	400	2-5 * 10 ⁴	0,5	40
4	400	2-5 * 10 ⁴	0,5	
5	400	2-5 * 10 ⁴	0,5	
6	600	2-5 * 10 ⁴	0,2	
6	2500	2-5 * 10 ³	5,0	45

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

3728041

19

FIG. 1

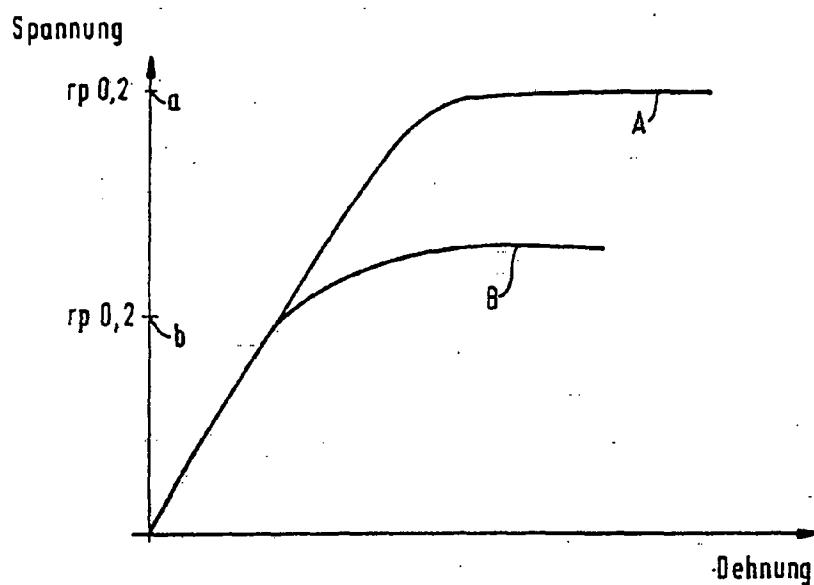
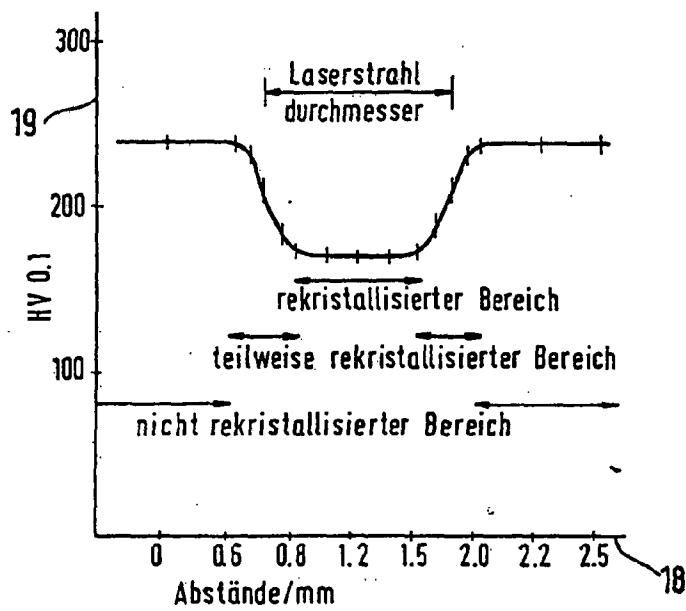


FIG. 3



20

3728041
FIG. 2a

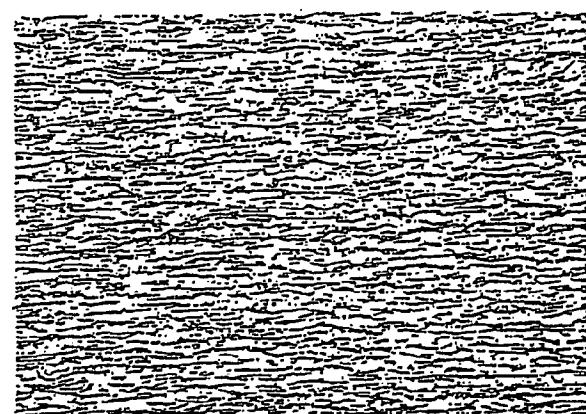


FIG. 2c



FIG. 2b



FIG. 4

